

# PEMODELAN RESISTIVITAS BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN METODE MAGNETOTELLURIK (STUDI DAERAH GUNUNG MERAKSA-TASIM, SUMATERA SELATAN)

Endar Widi Sugiyo<sup>\*1</sup>, Eddy Zulkarnaini Gaffar<sup>2</sup>, Yayat Sudrajat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang

<sup>2</sup> Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

\*E-mail: sugiow@gmail.com

## Abstrak

Geofisika merupakan ilmu yang mempelajari bumi dengan menggunakan prinsip-prinsip fisika, salah satu metode dalam geofisika adalah metode magnetotellurik yang memanfaatkan konsep elektromagnetik. Data magnetotellurik yang diperoleh dari akuisisi di lapangan tidak lepas dari gangguan *noise* sehingga perlu dilakukan pengolahan data. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengolahan data magnetotellurik sehingga diperoleh model penampang resistivitas secara 2-dimensi di daerah Gunung Meraksa-Tasim, Sumatera Selatan. Metode magnetotellurik merupakan metode eksplorasi geofisika pasif dimana dilakukan pengukuran medan listrik dan medan magnet alami yang berubah-ubah dalam fungsi waktu. Data akuisisi lapangan diolah dengan menggunakan *software* SSMT 2000 dan MT-Editor serta diinversi dengan menggunakan *software* WinGLink. Hasil pengolahan data berupa grafik *apparent resistivity* dan *phase* dalam fungsi frekuensi. Model resistivitas terhadap kedalaman diperoleh dari hasil inversi yang menunjukkan struktur berupa lipatan, pendugaan patahan dan struktur berlapis-lapis dari resistivitas bawah permukaan daerah penelitian. Struktur berlapis-lapis disebabkan karena proses pembentukan daerah penelitian yang merupakan daerah cekungan sedimen.

**Kata kunci:** cekungan sedimen, magnetotellurik, model resistivitas

## PENDAHULUAN

Metode geofisika melibatkan pengukuran sifat fisika di permukaan bumi yang dapat memberikan informasi struktur dan komposisi batuan di bawah permukaan untuk keperluan eksplorasi (Sarkowi 2010). Metode magnetotellurik merupakan metode geofisika pasif yang memanfaatkan konsep elektromagnetik. Metode magnetotellurik membutuhkan medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu (Praromadani 2012). Sumber medan elektromagnetik bumi alami berasal dari aktivitas meteorologis atau petir yang kemudian menjalar mengitari bumi (Unsworth 2014) dan fluktuasi medan magnet bumi diakibatkan oleh perubahan dalam *magnetosphere* yaitu zona kompleks plasma yang secara konstan terdorong oleh *solar wind* (Castells 2006). Tujuan penelitian ini adalah memahami pengolahan data magnetotellurik sehingga diperoleh model penampang resistivitas secara 2 D.

Variasi medan EM alam merambat secara vertikal ke bumi karena adanya kontras resistivitas yang besar antara lapisan udara dengan bumi (Zanuar 2009). Metode magnetotellurik didasarkan pada persamaan Maxwell yang dituliskan dalam persamaan (1a) dan (1b).

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1a)$$

$$\nabla \times H = j + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (1b)$$

dimana  $E$  adalah medan listrik (Volt/m),  $B$  adalah fluks atau induksi magnetik (Weber/m<sup>2</sup> atau Tesla),  $H$  adalah medan magnet (Ampere/m),  $j$  adalah rapat arus (Ampere/m<sup>2</sup>) dan  $D$  adalah perpindahan listrik (Colomb/m<sup>2</sup>)

Persamaan (1a) menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik menyebabkan medan listrik dengan gaya gerak listrik berlawanan dengan variasi fluks magnetik yang menyebabkannya. Persamaan (1b) menyatakan bahwa medan magnet timbul akibat fluks total

arus listrik yang disebabkan oleh arus konduksi dan arus perpindahan.

Kedalaman penetrasi medan EM bergantung pada frekuensi  $f$  dan resistivitas medium (Kearey *et al.* 2002). Besaran *skin depth* digunakan untuk memprediksi kedalaman penetrasi atau kedalaman investigasi gelombang EM (Grandis 2010). Rumusan besaran *skin depth* ditunjukkan dalam persamaan (2).

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \cong 0.503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} (km) \quad (2)$$

Impedansi kompleks dalam metode magnetotellurik dapat dinyatakan sebagai besaran amplitudo dan fasa. Besaran impedansi dinyatakan dalam bentuk tahanan jenis dan fasa dalam persamaan (3).

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} = -\sqrt{i\omega\mu_0\rho}$$

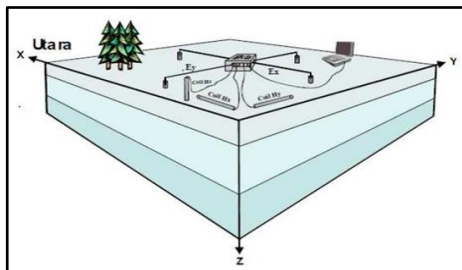
$$|Z_{xy}(\omega)|^2 = \omega\mu_0\rho$$

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_I|^2 \quad (3a)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im } Z_I}{\text{Re } Z_I} \right) \quad (3b)$$

## METODE

Pengambilan data (*data acquisition*) MT di daerah survei dilakukan dengan mengukur secara simultan komponen horisontal medan listrik ( $E_x$ ,  $E_y$ ) dan medan magnet ( $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ). Alat ukur MT terdiri dari tiga sensor sinyal magnetik (magnetometer) dan dua pasang sensor sinyal listrik (elektroda), PC, dan unit penerima sebagai pengolah sinyal dan perekam data. Konfigurasi alat dalam pengambilan data di lapangan ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi Alat dalam Akuisisi Magnetotellurik

Data yang digunakan merupakan data hasil survei magnetotellurik pada 10 titik pengukuran di daerah Gunungmeraksa-Tasim, Sumatera Selatan. Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2012 oleh Tim Peneliti Geoteknologi LIPI di daerah Muara Enim yang termasuk bagian Cekungan Sumatera Selatan.

Geologi Cekungan Sumatera Selatan adalah suatu hasil kegiatan tektonik yang berkaitan erat dengan penunjaman Lempeng Indi-Australia, yang bergerak ke arah utara hingga timur laut terhadap Lempeng Eurasia yang relatif diam. Daerah Gunungmeraksa-Tasim terdiri dari Formasi Kasai dan Muarenim, serta satuan Gunung api muda. Formasi Muara Enim memiliki ketebalan 500 m sampai 1000 m, terdiri dari batupasir, batulempung, batulanau dan batubara. Formasi Muara Enim berumur Miosen Akhir – Pliosen Awal. Formasi Kasai memiliki ketebalan 850 – 1200 m. Formasi ini terdiri dari batupasir tufan dan tefra riolitik di bagian bawah. Satuan Gunung api muda terdiri dari batuan breksi gunung api, lava, dan tufa yang bersifat andesit. Desain survei lokasi pengambilan data MT ditunjukkan dalam Gambar 2.

Data magnetotellurik yang diperoleh dari akuisisi di lapangan tidak lepas dari gangguan *noise* sehingga perlu dilakukan pengolahan data (Simpson & Bahr, 2005). Pengolahan data magnetotellurik dilakukan dengan tahapan transformasi *Fourier*, *robust processing*, dan seleksi *crosspower*. Kemudian dilakukan inversi 2D. Pengolahan data dari *pre-processing* yaitu menggunakan *software Phoenix Geophysics SSMT 2000* untuk proses transformasi *Fourier*, penentuan nilai *crosspower*, dan *robust processing* dilanjutkan dengan menggunakan *software MT-Editor* untuk pemilihan *crosspower*, serta *software WinGLink* untuk proses inversi pemodelan 2-dimensi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

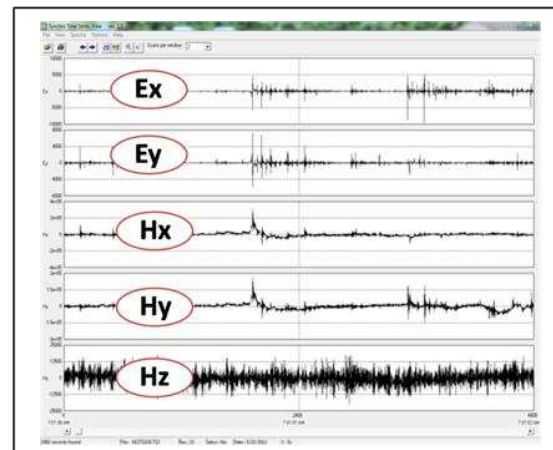
Data pengukuran metode magnetotellurik merupakan data time series dari medan listrik  $E_x$  dan  $E_y$  serta medan magnet  $H_x$ ,  $H_y$ , dan  $H_z$  yang ditampilkan dalam Gambar 3.



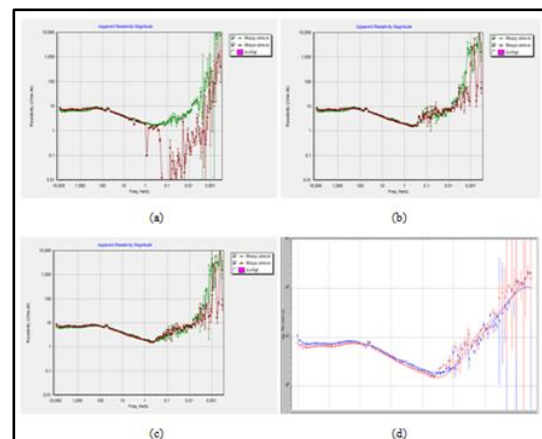
Gambar 2. Lokasi Titik Pengukuran MT

Data *time series* hasil pengukuran lapangan diubah ke dalam domain frekuensi menggunakan transformasi *Fourier* pada software SSMT 2000. Nilai *crosspower* ditentukan sebelum proses *robust*. *Robust processing* adalah prosedur yang baik untuk menghilangkan *outlier* atau titik yang sangat menyimpang dari *trendline* data, prosedur ini dapat mencegah pengaruh efek dari titik data yang mengandung banyak *noise*.

Prinsip *robust processing* adalah membagi data *time series* ke dalam segmen-segmen dengan ukuran sama. Setiap segmen diolah sehingga menghasilkan satu data parsial (*crosspower*) dari satu titik data respon fungsi transfer. Pembersihan data dari *noise* menggunakan prinsip *robust processing* dapat dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan seleksi data menggunakan software MT-editor. Hasil proses *robust* pada software SSMT 2000 ditampilkan dalam software MT-Editor berupa grafik *apparent resistivity* dan *phase*, dimana setiap titik respon fungsi transfer terdiri dari bagian-bagian parsial yang disajikan dalam grafik *crosspower apparent resistivity* dan *phase*. Perbandingan hasil proses *robust* berupa *apparent resistivity* disajikan dalam Gambar 4.



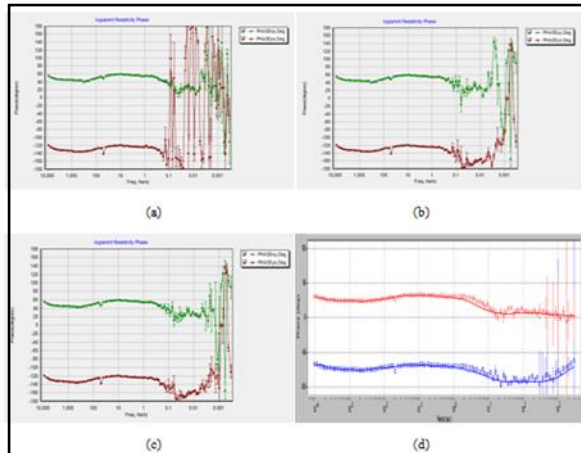
Gambar 3. Data Time Series Metode



Gambar 4. *Apparent Resistivity* Hasil *Robust Processing* (a) SSMT-2000, (b) Auto MT-Editor, (c) Seleksi Manual MT-Editor, dan (d) *Sounding WinGLink*

Pola *apparent resistivity* yang teramati pada *trendline* adalah cenderung turun pada frekuensi 10000 Hz sampai 0.1 Hz dan kemudian kembali naik sampai batas frekuensi yang terekam sehingga membentuk pola lembah.

Perbandingan hasil proses robust berupa phase disajikan dalam Gambar 5.

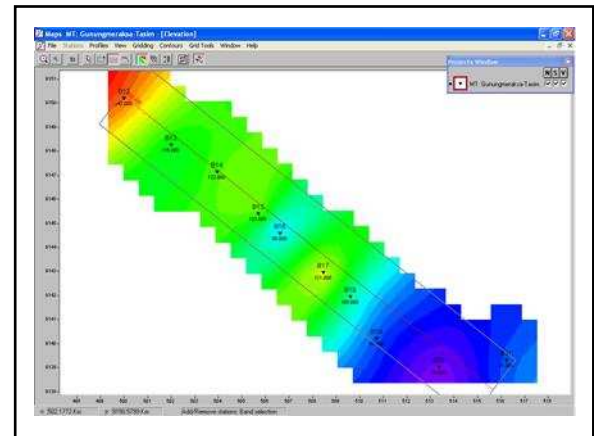


Gambar 5. Phase Titik B21 Hasil *Robust Processing* (a) SSMT-2000, (b) *Auto MT-Editor*, (c) Seleksi *Manual* Pada *MT-Editor*, dan (d) *Sounding WinGLink*

Proses *robust processing* untuk menyeleksi data dilakukan secara berulang-ulang dimaksudkan agar data yang diperoleh terpengaruh *noise* sedikit mungkin sehingga pola grafik *apparent resistivity* dan *phase* menjadi *smooth*. *Robust processing* diterapkan mulai dari *software* SSMT 2000 sebelum kita bisa menampilkan data dalam domain frekuensi.

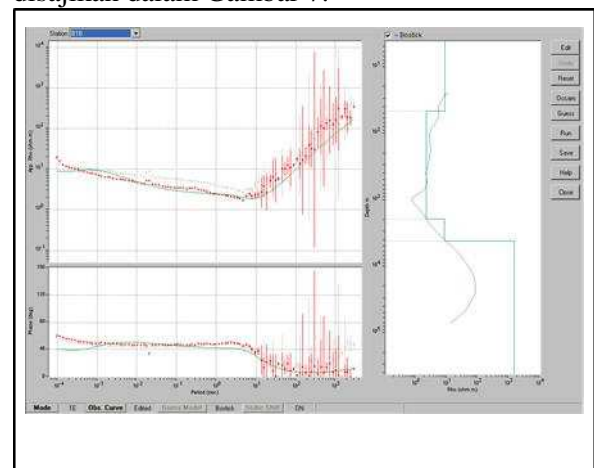
Hasil *robust processing* pada *software* SSMT 2000 umumnya diperoleh grafik *apparent resistivity* dan *phase* dalam domain frekuensi dengan pola masih berantakan dan terpecah-pecah untuk letak data di frekuensi rendah. Sedangkan pada frekuensi tinggi data sudah cukup rapi dan hanya membutuhkan sedikit proses membuat grafik lebih *smooth*.

Data hasil pengolahan menggunakan *software* MT-editor perlu diinversi untuk mendapatkan model struktur bawah permukaan. Proses pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* WinGLink. Model yang diperoleh dapat berupa model *Maps* dimana disajikan dalam kontur elevasi dan letak titik pengukuran MT. Model *Maps* titik pengukuran disajikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Model *Maps*

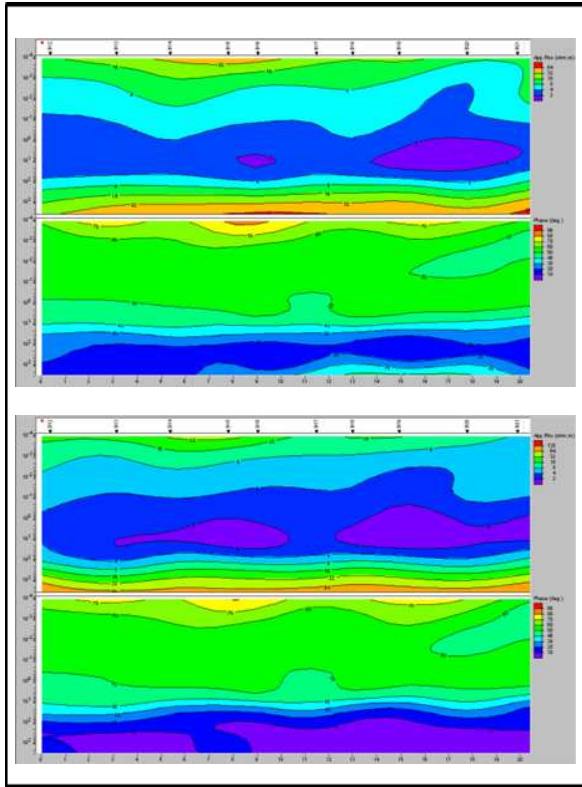
Model *Sounding* merupakan model yang menggambarkan resistivitas terhadap kedalaman dimana dapat menentukan nilai resistivitas dan ketebalan lapisan dengan mengedit dan membuat model struktur 1D setiap titik pengukuran. Contoh model *Sounding* disajikan dalam Gambar 7.



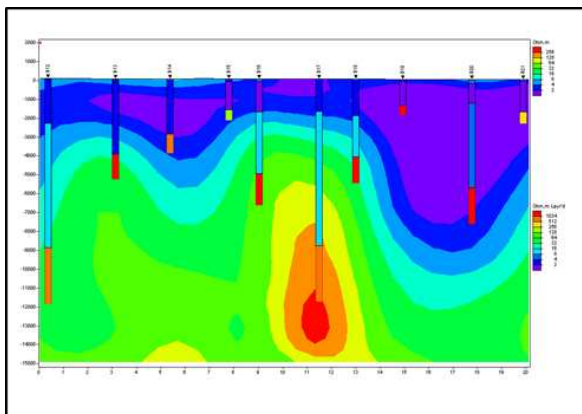
Gambar 7. Model *Sounding* 1D

Model *pseudo section* merupakan model yang menghubungkan nilai *resistivity* dan *phase* setiap titik pengukuran. Model *pseudo section* ada dua jenis yaitu *mode TM* dan *TE* yang disajikan dalam Gambar 8. Kondisi ideal *mode TM* dan *TE* berhimpit, tetapi apabila tidak berhimpit maka dapat dilakukan koreksi *static shift*.

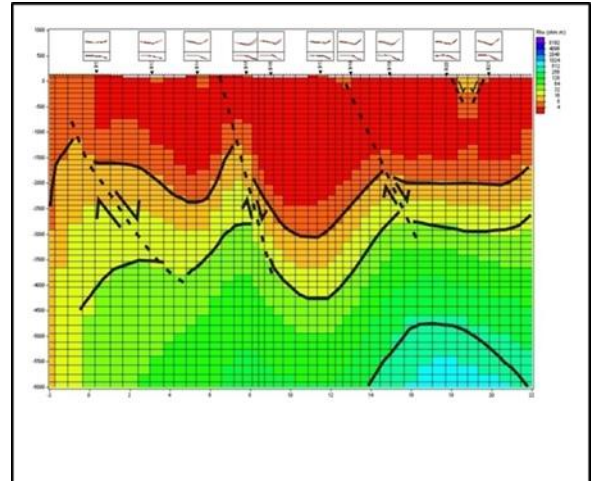


Gambar 8. *Pseudo Section Mode TM dan TE*

Model *cross section* dari data magnetotellurik merupakan model yang menyerupai data *log bor* yang menunjukkan nilai resistivitas terhadap kedalaman pada setiap titik lokasi yang dikorelasikan untuk semua titik pengukuran. Model *cross section* ditunjukkan dalam Gambar 9.

Gambar 9. *Model Cross Sections*

Model inversi 2D merupakan model yang menggambarkan struktur resistivitas bawah permukaan terhadap kedalaman dalam bentuk penampang 2 dimensi seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Gambar 10. *Model Inversi 2D*

Bentuk model seperti lipatan-lipatan diduga karena pada lokasi pengambilan data dipengaruhi oleh penunjaman lempeng Hindi-Australia ke lempeng Eurasia dan pergerakan sesar Sumatera. Struktur berlapis-lapis sesuai dengan pembentukan daerah penelitian yang merupakan daerah cekungan sedimen. Pendugaan patahan terletak di utara titik B12, diantara titik B14 dan B15, diantara titik B18 dan B19 diantara titik B20 dan B21, serta pendugaan intrusi batuan di kedalaman 5000 m.

## SIMPULAN

Tahapan pengolahan data magnetotellurik terdiri dari transformasi *Fourier*, *robust processing*, seleksi *crosspower*, dan inversi 2D. Pengolahan data dimulai dari data time series sampai diperoleh informasi resistivitas terhadap kedalaman. Model penampang resistivitas menunjukkan struktur berlapis-lapis pada daerah Gunungmeraksa-Tasim, pendugaan patahan dan dugaan adanya batuan intrusi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Castells, A.M.. 2006. A Magnetotelluric Investigation of Geoelectrical Dimensionality and Studi of the Central Betic Crustal Structure [Thesis]. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Kearey, Philip, Brooks, Michael, Hill, Ian. 2002. *An Introduction To Geophysical Exploration*. Williston : American Blackwell Publishing.
- Praromadani, Z.S. 2012. *Pemodelan Sistem Geotermal Daerah Telomoyo Dengan*

- menggunakan Data Magnetotellurik [skripsi]. Depok: Universitas Indonesia
- Sarkowi, M. 2010. *Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung : UNILA
- Simpson, F., & K. Bahr. 2005. *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press. [ebooks.cambridge.org Rabu 06-08-2014 08.37]
- Unsworth, M. 2014. *Overview of Elektromagnetic exploration methods. Geophysics 424*. University of Alberta.
- Zanuar, R. 2009. *Pemodelan 2-Dimensi Data Magnetotellurik Daerah Prospek Panasbumi Gunung Endut, Banten* [skripsi]. Depok: Universitas Indonesia.